

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОНОВАНО-ГАУСОВОГО РОЗПОДІЛУ З ІНВЕРСНОЮ ГАММА ТЕКСТУРОЮ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕНСИВНОГО МОРСЬКОГО КЛАТЕРА РЛС З ВИСОКОЮ РОЗДІЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ

Турко Святослав Іванович, аспірант

Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна

Вибір математичної моделі морського клатера, що максимально точно відображає його статистичні властивості, є необхідним і важливим завданням для розв'язання задач виявлення малорозмірних малорухомих об'єктів морськими радіолокаційними станціями (РЛС), оскільки заважаючи відбиття від морської поверхні є основним джерелом завад морського радара, а сучасні адаптивні алгоритми виявлення цілі на фоні завад в таких радарх базуються на апіорному знанні розподілу сигналу і завади, тобто ефективність таких алгоритмів залежить від того, наскільки точно підібрані статистичні моделі сигналу та завади.

Гаусів розподіл найбільш точно моделює морський клатер для РЛС з низькою роздільною здатністю. Для моделювання морського клатера РЛС з високою роздільною здатністю використовували логнормальний [1], Вейбулів [2] розподіл, але фізичну трактовку отримала компоновано-Гаусова модель, згідно якої випадковий процес, яким є інтенсивність морського клатеру, є добутком двох випадкових величин — текстури і спеклу [3]. Компоновано гаусів розподіл з текстурою, розподіленою за законом гамма розподілу, отримав назву К-розподілу.

Особливо важливо мати можливість оцінювати параметри статистичного розподілу в режимі реального часу, на основі наявних вимірів, оскільки в протилежному випадку алгоритм виявлення не матиме точної моделі завади і рішення про наявність чи відсутність цілі буде прийнято неправильно. Безпосередня чисельна оцінка коренів рівняння максимальної правдоподібності для К-розподілу не є можливою, оскільки К-розподіл залежить від двох величин — параметра масштабу та параметра форми, до того ж в рівняння входить функція Бесселя. Це означає, що для безпосереднього чисельного знаходження значень цих двох параметрів, при яких функція правдоподібності К-розподілу має максимум, для, скажімо, десяти тисяч значень інтенсивності клатера необхідно обчислити функцію Бесселя сто мільйонів разів, що навіть зважаючи на сучасний стан елементної бази обчислювальної техніки не є можливим. Аналітичного виразу для знаходження параметра масштабу та параметра форми, при яких функція правдоподібності для К-розподілу набуває максимуму, не існує.

В останні роки було виявлено [4], що при використанні інверсного гамма розподілу для моделювання текстури компоновано-Гаусів розподіл

описує морський клатер більш точно, ніж при використанні гамма розподілу.

Щільність ймовірності компоновано-Гаусового розподілу з інверсною гамма текстурою [4]:

$$f_R(r) = \frac{2\alpha\beta r}{(\beta r^2 + 1)^{\alpha+1}}, \quad (1)$$

де α — параметр форми, β — параметр масштабу.

Функція правдоподібності для n незалежних значень огинаючої амплітуди отриманого радаром сигналу r_1, r_2, \dots, r_n , що розподілені зі щільністю ймовірності (1), матиме вигляд:

$$L_n(\alpha, \beta; r_1, r_2, \dots, r_n) = \prod_{i=1}^n f_R(r_i; \alpha, \beta) = \prod_{i=1}^n \frac{2\alpha\beta r_i}{(\beta r_i^2 + 1)^{\alpha+1}} \quad (2)$$

Прологарифмувавши ліву й праву частини (2), отримаємо логарифмічну функцію правдоподібності:

$$\begin{aligned} \ln(L_n(\alpha, \beta; r_1, r_2, \dots, r_n)) &= \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{2\alpha\beta r_i}{(\beta r_i^2 + 1)^{\alpha+1}} \right) = \\ &= \sum_{i=1}^n \ln(r_i) + n \ln(2) + n \ln(\alpha) + n \ln(\beta) - (\alpha + 1) \sum_{i=1}^n \ln(\beta r_i^2 + 1) \end{aligned} \quad (3)$$

Для знаходження параметрів форми і масштабу, при яких функція правдоподібності набуває максимуму, продиференціюємо (3) по α та β , прирівняємо два отримані вирази до нуля, і, виразивши α через β , отримаємо систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha &= \frac{n}{\sum_{i=1}^n \ln(\beta r_i^2 + 1)}; \end{aligned} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{r}{\beta} - \left(\frac{n}{\sum_{i=1}^n \ln(\beta r_i^2 + 1)} + 1 \right) \sum_{i=1}^n \frac{r_i^2}{\beta r_i^2 + 1} &= 0. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Корінь (5) може бути обчислено в режимі реального часу. Експеримент з реальними даними морського клатера, отриманими в водах Південно-Африканської Республіки [5], показав, що для отримання кореня з використанням методу половинного ділення з точністю, що перевищує точність “нуля” Matlab, необхідно не більше 100 ітерацій. Також з використанням вищезгаданих експериментальних даних було проведено порівняння точності апроксимації емпіричної щільності ймовірності теоретичною

на основі критерію χ^2 -квадрат для розподілів Вейбула, Релея, логнормального, K -розподілу та компоновано-Гаусового з інверсною гамма текстурою. Найкращу апроксимацію продемонстрував компоновано-Гаусів розподіл з інверсною гамма текстурою.

Отже, компоновано-Гаусів розподіл з інверсною гамма текстурою може бути використано в морських РЛС для виявлення малорозмірних малорухомих цілей на фоні інтенсивного морського клатера.

Література

1. Farina A. Coherent radar detection in log-normal clutter / Farina A., Russo A., Studer F. A. // IEE Proceedings F Communications, Radar and Signal Processing. — 1986. — №1. — P. 39—53.
2. Long M. W. Radar reflectivity of land and sea / M. W. Long. — Boston: Artech House, 2001. — 221 p.
3. Ward K. D. Sea clutter: scattering, the K distribution and radar performance / K. D. Ward, R. J. A. Tough, S. Watts. — London: The Institution of Engineering and Technology, 2006. — 452 p.
4. Younsi A. Performance of the adaptive normalized matched filter detector in compound Gaussian clutter with inverse gamma texture model / Younsi A., Nadour M. // Progress In Electromagnetics Research B. — 2011. — Vol. 32. — p. 21—38.
5. Sea clutter measurement Trial [Електронний ресурс] : за даними вимірювань морського радара 2006 та 2007 pp. / Council for Scientific and Industrial Research. — Електрон. дані. — режим доступу до бази.: http://www.csir.co.za/small_boat_detection/.

Анотація

Розглянуто можливість використання компоновано-Гаусового розподілу з інверсною гамма текстурою для виявлення малорозмірних малорухомих цілей морськими РЛС на фоні інтенсивного морського клатера. Запропоновано спосіб обчислення параметрів розглянутого розподілу в режимі реального часу на основі наявних вимірних даних. Запропонований спосіб перевірено на реальних вимірних даних морського клатера.

Ключові слова: морський клатер, компоновано-Гаусів розподіл, функція правдоподібності.

Аннотация

Рассмотрена возможность использования составного Гауссова распределения с инверсной гамма текстурой для обнаружения малоразмерных малоподвижных целей морскими РЛС на фоне интенсивного морского клатера. Предложен способ вычисления параметров рассмотренного распределения в режиме реального времени на основе имеющихся измеренных данных. Предложенный способ проверен на реальных измеренных данных морского клатера.

Ключевые слова: морской клатер, составное Гауссово распределение, функция правдоподобности.

Abstract

Possibility of compound Gauss distribution using for small slow moving targets detection by marine radars with intense sea clutter presence was considered. Method of considered distribution parameters real time computing with using of existing measured datas was presented. Presented method was checked with real measured sea clutter datas.

Keywords: sea clutter, compound Gauss distribution, likelihood function.